Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. J. Knüttgen

Akklimatisation bei leichter Hitze- und Arbeitsbelastung in der Klimakammer

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Hans Bauer
aus Göppingen

1970

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547603_0132

Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. J. Knüttgen

Akklimatisation bei leichter Hitze- und Arbeitsbelastung in der Klimakammer

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Hans Bauer
aus Göppingen

1970

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. K. Mörike

1. Berichterstatter: Professor Dr. W. Höfler

2. Berichterstatter: Professor Dr. H. J. Knüttgen

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG · Tübingen

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG 1

EXPERIMENTELLES VORGEHEN UND METHODIK 3

A. Versuchspersonen und Versuchsprogramm 3

B. Vortraining 3

C. Akklimatisationsversuch 3

1. Arbeitsprogramm 3
2. Klima 4
3. Kleidung 4
4. Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme 4

D. Testversuche 4

E. Messungen 5

F. Statistische Methoden 6

G. Berechnung der Wärmebilanzgröße 6

ERGEBNISSE 9

1. Ruhe- und Arbeitspulsfrequenzen 9
2. Körpertemperaturen 10
   a) Kerntemperatur 10
   b) Hauttemperaturen 10
   c) Innerer Temperaturgradient (IT) 10
   d) Mittlere Hauttemperatur vor Messung der lokalen Schweißverteilung 11
3. Änderung der Schweißsekretion 11
   a) Berechnung aus dem Gewichtsverlust 11

Seite

b) Berechnung der Schweißintensität und integralen Schweißrate am Ende der täglichen Arbeitsperioden 12
c) Der prozentuale Anteil der Körperteile an der integralen Schweißrate 13
4. Beziehung zwischen Schweißrate und Körpertemperaturen 13
5. Änderung der Wärmebilanzgrößen 14

ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE 16

BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE 17

PRAKTISCHE FOLGERUNGEN 22

LITERATURVERZEICHNIS 24

EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Bisher wurden Akklimatisationsversuche unter mittlerer bis schwerer Arbeits- und Hitzebelastung im natürlichen Klima (ADOLPH 1947, EDHOLM u. Mitarb. 1963, HELLON u. Mitarb. 1956, HÖFLER 1966, MACPHERSON 1960) und künstlichen Klima (EICHNA u. Mitarb. 1945, EICHNA u. Mitarb. 1950, GERKING u. Mitarb. 1946, HORVATH u. Mitarb. 1946, LAASER 1968, MOSS 1923, ROBINSON u. Mitarb. 1943, SCHMOLL 1967, TAYLOR u. Mitarb. 1943, WYNDHAM 1952, WYNDHAM u. Mitarb. 1960) durchgeführt. Bei allen Versuchen war der Belastungsgrad so groß, daß die objektiven und subjektiven Kriterien keinen Zweifel am Erfolg der Akklimatisation ließen.

Nur JUNGMANN (1962) stellte fest, daß unter geringer Arbeitsbelastung während eines zweieinhalbmonatigen Aufenthaltes in den Tropen bei einer Schiffsbesatzung lediglich eine "unvollständige Akklimatisation" auftrat. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen EICHNA u. Mitarb. (1945) bei sitzenden Versuchspersonen im künstlichen Klima.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Bedingungen zu variieren, um eine optimale Anpassung an einen bestimmten Belastungsgrad zu erreichen. EICHNA u. Mitarb. (1945) schlugen vor, bei konstanter Umgebungstemperatur die Arbeitsbelastung langsam zu steigern, während WYNDHAM (1960) in Südafrika für angehende Minenarbeiter eine Zweistufenakklimatisation entwickelte bei der die Arbeiter unter konstanter Arbeitsbelastung sechs Tage in einer Strosse von 30,5° C und sechs Tage in einer Strosse von 32,8° C trainiert werden.

Im vorliegenden Versuch wurden Temperatur und Arbeit konstant gehalten. Die Gesamtbelastung war im Vergleich zu anderen Autoren gering. Die unregelmäßig dazwischen liegenden Testversuche jedoch wurden unter sehr viel höherer Arbeits- und Hitzebelastung durchgeführt.

Daraus ergibt sich folgende Fragestellung:

1. Ist auch bei geringer Belastung eine Akklimatisation an den vorgegebenen Belastungsgrad möglich?

2. Haben die diskontinuierlichen hohen Belastungen (Testversuche) einen günstigen Einfluß auf den Ablauf der Akklimatisation?

EXPERIMENTELLES VORGEHEN UND METHODIK

A. VERSUCHSPERSON UND VERSUCHSPROGRAMM

Die männliche Versuchsperson (28 Jahre, 177 cm, 76 kg) absolvierte vom 17.9. bis 15.10.1968 in einer 360 cm langen, 230 cm breiten und 200 cm hohen Klimakammer (Firma Meisser & Wurst, Stuttgart) folgendes Versuchsprogramm:

Der Versuch lief über 29 Kalendertage, davon waren 20 Arbeitstage. An 4 Sonntagen (22.9., 29.9., 6.10., 13.10.) und am Samstag den 12.10. fand kein Versuch statt.

B. VORTRAINING

Dem Hauptversuch ging vom 28.8. bis 14.9.1968 ein 13tägiges Training bei normaler Umgebungstemperatur voraus. Das tägliche Arbeitspensum betrug 4 mal 50 Minuten mit einer Arbeitsbelastung von 8 mkp/sec. Bereits während dieses Kaltversuches fanden 4 Testversuche statt.

C. AKKLIMATISATIONSVERSUCH

1. Arbeitsprogramm

An eine 40minütige Ruhepause schlossen sich 4 Arbeitsperioden zu je 50 Minuten an. Die Messungen zwischen diesen Perioden nahmen jeweils etwa

10 Minuten in Anspruch. Nach diesem Arbeitsprogramm wurde die lokale Verteilung der Schweißsekretion gemessen. Die folgende Ruhepause dauerte solange, bis die Versuchsperson insgesamt 6 Stunden in der Klimakammer verbracht hatte. Die Arbeitsbelastung am Fahrradergometer betrug 5 mkp/sec. bei 60 Umdrehungen pro Minute.

2. Klima

Die Trockentemperatur lag während des ganzen Versuches bei 32° C, die Feuchttemperatur bei 26° C, was einer relativen Luftfeuchtigkeit von 62% entspricht.

3. Kleidung

Die Versuchsperson war lediglich mit einer kurzen Hose und leichten Sandalen bekleidet.

4. Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme

Die bisherigen Ernährungsgewohnheiten in der versuchsfreien Tageszeit und an den Sonntagen wurden von der Versuchsperson beibehalten. Die zugeführte Flüssigkeitsmenge (dünner warmer Tee) während jeder Arbeitsstunde entsprach dem jeweiligen Gewichtsverlust der vorausgegangenen Arbeitsperiode.

D. TESTVERSUCHE

Die eingeschobenen Testversuche fanden unter erschwerten Bedingungen statt (27.9., 4.10., 8.10., 11.10.). Die Trockentemperatur lag bei 35° C, die Feuchttemperatur bei 32° C, was einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80% entspricht. Die Arbeitsbelastung betrug 8 mkp/sec bei 60 Umdrehungen pro Minute.

Die Besprechung der Testversuche soll nicht Gegenstand dieser Abhandlung sein; die Ergebnisse werden an anderer Stelle ausführlich behandelt.

E. MESSUNGEN

Gemessen wurden:

a) Die Pulsfrequenz alle 5 Minuten in Ruhe während der Arbeit mit dem photoelektrischen Pulszähler nach E. A. Müller,

b) die Hauttemperaturen an Stirn, Brust, Handrücken und Oberschenkelstreckseite alle 5 Minuten in Ruhe und Arbeit mit einem Bolometer (Prof. W. Heimann GmbH),

c) die Trocken- und Feuchttemperatur alle 5 Minuten,

d) die Schweißmenge nach der anfänglichen Ruhepause, und nach jeder Arbeitsperiode auf 50 g genau aus dem Gewichtsverlust,

e) die Rektaltemperatur nach der Ruhepause und nach jeder Arbeit mit einem Fieberthermometer auf 0,1° C genau,

f) die lokale Schweißverteilung am Ende des Arbeitsprogrammes:

An Stirn, rechter Wange und rechter Seite des Halses wurde je ein 2 cm tiefer Plexiglasring von 40 mm lichter Weite mit einem Klettenband befestigt. Zirkulär vom Sternum bis zur Wirbelsäule und zwar unterhalb der rechten Mamille, in der rechten Axillarlinie und am Rücken wurden saugfähige Zellstoffplatten (10 · 14 cm) unter luft- und feuchtigkeitsdurchlässigen, nach allen Seiten abgedichteten Plastikfolien mit Gummibändern befestigt; ebenso an der Außenseite des rechten Oberarms, an der Streckseite des rechten Unterarms, am Oberschenkel lateral oben und medial unten und an der Außenseite des rechten Unterschenkels.

Die Kapseln wurden, nach Abtrocknen der Haut mit einem Wattebausch, in bestimmter Reihenfolge 6 Min lang durch Parafilmfolie verschlossen. Die Zellstoffplatten, die vorher auf 1 mg genau abgewogen worden waren, wurden ebenfalls in bestimmter Reihenfolge nach Abtrocknen der Haut 6 Minuten an den entsprechenden Hautarealen fixiert.

Nach Abnehmen der Parafilmfolie wurde der inzwischen gebildete Schweiß mit einem vorher auf 1 mg genau abgewogenen Wattetupfer abgewischt und die Gewichtszunahme durch eine anschließende Wägung bestimmt. Ebenso wurde die Gewichtszunahme der abgenommenen Zellstoffplatten gemessen.

Vor Anlegen der Kapseln bzw. der Zellstoffplatten wurde die Hauttemperatur der betreffenden Bezirke mit dem Bolometer bestimmt.

F. STATISTISCHE METHODEN (WEBER, 1967)

1. Regressionsanalyse
2. Zeichen-Rangsummen-Test für gleichartige Paare von WILCOXON (matched-pairs signed-ranks test).

G. BERECHNUNG DER WÄRMEBILANZGRÖSSEN

BRISBANE (1969), HÖFLER u. Mitarb. (1969), LADIPOH (1969)

1. Berechnung der Wärmespeicherung Δ H in Kcal/h

   Aus der Differenz der Rektaltemperatur zu Beginn der Ruhephase und am Ende der Arbeitsphase, der spezifischen Wärme des Körpers von 0,83 und dem Körpergewicht der Versuchsperson ergibt sich die Wärmespeicherung:

   $$\Delta H = 0,83 \cdot KG \cdot \Delta RT$$

   KG = Körpergewicht
   RT = Rektaltemperatur

2. Berechnung der Wärmeabgabe bzw. -aufnahme durch Konvektion und Strahlung Q_{c+s}

   Nach CLIFFORD u. Mitarb. (1959) ist der Konvektionswärmestrom

   $$Q_c = 0,23 \cdot Wind^{0,62} \cdot (T_H - T_L)\ Kcal/h \cdot m^2$$

   Wobei T_H = Hauttemperatur

   T_L = Trockentemperatur der Luft

Daraus ergibt sich:

$$Q_C = 0,23 \cdot \text{Wind}^{0,63} \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot {}^{\circ}\text{C}$$

$$= 0,23 \cdot 17,38$$

$$= 4,0 \cdot \text{Körperoberfläche Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot {}^{\circ}\text{C}$$

Für den Strahlungswärmestrom Q_S kann die einfache Temperaturdifferenz zwischen Haut und Kammerwand, in diesem Fall = Luft, eingesetzt werden. Unter der Annahme, daß 80% der Körperoberfläche am Strahlungswärmeaustausch teilnehmen, ergibt sich eine fast gleiche Proportionalitätskonstante wie für den Konvektionswärmestrom Q_C, so daß man hier die beiden Wärmeströme zusammenfassen kann zu:

$$Q_{C+S} = \text{Summe der Konstanten} \cdot (T_H - T_L) \text{ Kcal/h.}$$

$$Q_C = 4,0 \cdot 1,92 = 7,67 \text{ Kcal/h} \cdot {}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_S = 4,85 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot {}^{\circ}\text{C} \cdot 80\% \cdot \text{Körperoberfläche}$$

$$= 7,45 \text{ Kcal/h} \cdot {}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{C+S} = 15,1 \cdot (T_H - T_L) \text{ Kcal/h}$$

3. Berechnung der verdunsteten Schweißmenge V

aus der Wärmebilanzgleichung

$$V = M \pm Q_{C+S} \pm \Delta H \text{ (Kcal/h)}$$

wobei M = Gesamtstoffwechsel, vermindert um die mechanische Arbeit von 35 Kcal/h.

4. Berechnung der Verdunstungskapazität C

Die evaporierte Wärmeabgabe hängt von der Wasserdampfdruckdifferenz zwischen Hautoberfläche und Luft ab:

$$C = K (e_H - e_L) \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2$$

Die Verdunstungszahl K beträgt nach CLIFFORD u. Mitarb. (1959)

$$K = 0,45 \cdot \text{Wind}^{0,63} \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Torr}$$

Die durchschnittliche Luftbewegung in der Nähe der Versuchsperson betrug 0,5 m/sec. Bei einer Körperoberfläche von 1,92 m^2 ergibt sich somit:

$$C = 15,7(e_H - e_L) \text{ Kcal/h.}$$

5. Berechnung der produzierten Schweißmenge S in Kcal

aus der Schweißmenge in ml und der Verdunstungswärme:

Schweißmenge in ml · 0,58 = S in Kcal

ERGEBNISSE

1. Ruhe- und Arbeitspulsfrequenzen (Abb. 1)

Der in den ersten 5 Versuchstagen stark variierende Ruhepuls von durchschnittlich 81/min (75-87) fällt auf einen stabilen Wert von 76/min (75-77) während der letzten Woche ab. ($p < 0,01$).

In ähnlicher Weise nehmen die Arbeitspulsfrequenzen ab. Die Werte der ersten Arbeitsstunde, die in den ersten 5 Versuchstagen noch bei 104/min lagen, sinken auf 98/min in der letzten Woche ab ($p < 0,001$); die Werte der zweiten Arbeitsstunde fallen von 100/min auf 94/min ($p < 0,001$), die der dritten Arbeitsstunde von 100/min auf 93/min ($p < 0,001$) und die der vierten Arbeitsstunde von 102/min auf 94/min ($p < 0,01$), jeweils auf die ersten 5 Tage und die letzte Woche des Versuchs bezogen.

Während der einzelnen Versuchstage ist von der ersten auf die zweite Arbeitsstunde eine deutliche Abnahme der Arbeitspulsfrequenz zu erkennen.

Somit liegen die am Ende des Akklimatisationsversuchs erreichten Arbeitspulsfrequenzen unter denen des Trainings, die immer über 100/min betrugen. Allerdings wird dieses stabile Endniveau erst nach der dritten Woche des Versuchs erreicht (Abb. 1).

TAYLOR u. Mitarb. (1943), ROBINSON u. Mitarb. (1943), EICHNA u. Mitarb. (1950), GLASER (1950), HÖFLER (1966) und LAASER (1968) fanden in ihren Versuchen jedoch bereits nach ein bis zwei Wochen einen Abschluß des initialen Abfalls der Pulsfrequenzen und keine signifikanten Veränderungen mehr bis zum Ende der Versuchsdauer.

Überraschenderweise haben die Belastungsversuche zwischen Versuchstag 9 und 10, 14 und 15, 16 und 17 keinen unmittelbaren Einfluß auf die Ruhepulsfrequenz einerseits und die Arbeitspulsfrequenzen andererseits. Lediglich beim Belastungsversuch nach dem 18. Versuchstag sieht man am darauffolgenden Tag ein geringes Abfallen der Pulsfrequenzen für die erste bis dritte Arbeitsstunde (im Mittel um 4-6/min).

2. Körpertemperaturen

a) Kerntemperatur

Im Gegensatz zu den beobachteten Veränderungen der Pulsfrequenzen im zeitlichen Verlauf zeigen die Kerntemperaturen keine Reaktion auf die Hitzebelastung (Abb. 1). Die Ruhetemperatur liegt in der ersten Woche bei 36,8° C, in der letzten Woche bei 36,7° C.

Auch die Kerntemperaturen, die nach jeder Arbeitsstunde gemessen wurden, ändern sich nicht. Die Durchschnittswerte für alle 4 Stunden bewegen sich - sowohl am Anfang, als auch am Ende des Versuchszeitraumes - zwischen 37,4° und 37,5° C. Die Schwankungen innerhalb der 4 Stunden eines jeden Tages sind gering. Eine Reaktion auf die Testversuche ist, wie bei den Pulsfrequenzen, nicht festzustellen.

Im Vergleich zu den letzten 5 Tagen des Vorversuchs sinken die Ruhekerntemperaturen um 0,3° C auf 36,7° C am Ende des Hauptversuches.

b) Hauttemperaturen (Abb. 1)

Die Hauttemperaturen - Mittelwerte der gemessenen Werte an Kopf, Stamm, Arm und Bein - lassen für die Ruhe, die zweite und dritte Stunde als lineare Regression der Versuchsdauer einen geringen statistisch gesicherten Anstieg erkennen. In Ruhe steigt die Hauttemperatur von 34,7° C in den ersten 5 Tagen auf 35,0° C in der letzten Woche ($p < 0,05$). Um denselben Betrag von 0,3° C erhöht sich die Hauttemperatur der zweiten Stunde von 33,4° C auf 33,7° C ($p < 0,05$) und der dritten Stunde von 33,6° C auf 33,9° C ($p < 0,001$), wiederum bezogen auf denselben Zeitraum. Der leichte Abfall der Hauttemperatur der vierten Stunde ist nicht signifikant.

c) Innerer Temperaturgradient (IT) (Abb. 2)

Die Differenz zwischen Kern- und Hauttemperaturen zeigen nur für die Ruhe, die zweite und dritte Stunde eine leichte Abnahme. In den ersten fünf Tagen beträgt der IT im Mittel 2,1 für die Ruhe, 4,15 für die zweite Stunde und 4,0 für die dritte Stunde. Die entsprechenden Werte der letzten 5 Tage sind 1,7 ($p = 0,05$), 3,8 ($p = 0,02$) und 3,6 ($p = 0,05$), wobei der Wilcoxon-Rangtest zugrunde gelegt wurde, SCHMOLL (1967) hat ebenfalls eine Abflachung des IT festgestellt (0,9 bzw. 0,7), während HÖFLER (1966) und EICHNA u. Mitarb. (1950) eine Versteilerung beobachteten.

d) Mittlere Hauttemperatur vor Messung der lokalen Schweißverteilung

Entsprechend dem prozentualen Anteil der Körperteile an der Gesamtoberfläche und der Größe der Meßflächen wurden die nach der vierten Stunde gemessenen Hauttemperaturen des Kopfes mit 0,06, des Armes mit 0,177, des Stammes mit 0,397 und die des Beines mit 0,366 multipliziert. Die addierten Produkte ergeben die mittlere Hauttemperatur nach der vierten Stunde (Abb. 2). Hier läßt sich keine signifikante Änderung während des Versuchsverlaufes feststellen (Wilcoxon-Rangtest).

Die Körpertemperaturen zeigen im Gegensatz zu den Ergebnissen der anderen Autoren (EICHNA u. Mitarb. 1945, GERKING u. Mitarb. 1946, BASS u. Mitarb. 1955, LADELL 1957, WYNDHAM u. Mitarb. 1960, WENZEL 1961, LIND u. Mitarb. 1963, HÖFLER 1966, SCHMOLL 1967, LAASER 1968 und WYNDHAM 1967), die nach einem initialen Anstieg, einen zunehmenden Abfall der Temperaturen beobachteten, keine nennenswerte Änderung im Verlauf des Versuchs. Lediglich ein geringer Anstieg der Hauttemperaturen in Ruhe und während der zweiten und dritten Stunde ist auffallend.

3. Änderung der Schweißsekretion

a) Berechnung aus dem Gewichtsverlust

Das Körpergewicht wurde nach Betreten der Klimakammer, am Ende der Ruhepause und nach jeder der vier Arbeitsperioden gemessen. Aus der Differenz des Körpergewichts ergab sich nach Umrechnung auf eine Stunde die Größe der Schweißmenge für die Ruhe bzw. für jede der 4 Stunden in g/h, die dann in ml/kg Körpergewicht und Stunde umgerechnet wurde (Schweißrate).

Die Schweißraten in Ruhe pendeln sich nach anfänglichen Schwankungen in den ersten 6 Tagen auf einen Wert um 1,5 ml/kg · h ein, der bis zum Ende des Versuchs ziemlich konstant bleibt (1,5 - 1,9 ml/kg.h) (Abb. 1). Die Werte für die erste und zweite Stunde weisen größere Initialschwankungen in den ersten sieben Tagen auf. Im weiteren Verlauf stabilisieren sich die Schweißraten und erreichen am Ende 4-5 ml/kg · h, was dem Mittel der ersten Woche entspricht (Abb. 1). In der dritten und vierten Stunde zeigen die Maxima und Minima von Anfang an geringere Differenzen. Auch hier kann man keine Änderung der Schweißraten feststellen. Sie liegen ebenfalls zwischen 4-5 ml/kg · h.

Die durchschnittlichen Schweißraten aller vier Arbeiten zeigen noch deutlicher, daß im Verlauf des Akklimatisationsversuchs keine Änderung der Schweißsekretion festzustellen ist.

Das Tagesmaximum verschiebt sich in der zweiten Woche von der zweiten auf die vierte Stunde. Vom 16. bis 23. Tag liegen die in der dritten und vierten Stunde gemessenen Werte über denen der beiden ersten Stunden. Am Ende des Versuchs haben sich die Differenzen jedoch ausgeglichen.

Bei GERKING u. Mitarb. (1946) und HÖFLER (1968) dagegen liegt das Tagesmaximum in der ersten und zweiten Tagesstunde. Nach WENZEL (1961) sinkt die Schweißabgabe bei mehrstündiger Belastung nur dann ab, wenn die mittlere Hauttemperatur über 35 ^{c} C liegt und die Schweißproduktion über 400 g/h $\cdot$ m^2 Körperoberfläche beträgt.

Da sich beim vorliegenden Versuch die mittlere Hauttemperatur unter 35^{o} C und die Schweißproduktion im Mittel unter 400 g/h $\cdot$ m^2 bewegt, sind die hohen Schweißraten in der dritten und vierten Stunde verständlich. Eine "Ermüdung der Schweißdrüsen", die GERKING u. Mitarb. (1946) und WYNDHAM (1966) beobachteten, ist bei dieser geringen Belastung nicht zu erwarten.

Auch die Testversuche lassen keinen Einfluß auf die Größe der Schweißraten erkennen.

Andere Autoren verzeichnen bei hoher Belastung eine beachtliche Zunahme der Schweißsekretion im zeitlichen Verlauf.

Bei LIND u. Mitarb. (1963) beträgt dieser Anstieg 15%, bei ROBINSON u. Mitarb. (1943) 25%, bei TAYLOR u. Mitarb. (1943) 26% in 8 Tagen, bei EICHNA u. Mitarb. (1945) 36,5% und bei HÖFLER (1968) 30 - 100%.

b) Berechnung der Schweißintensität und integralen Schweißrate am Ende der täglichen Arbeitsperioden

Aus den, mit den Kapseln am Kopf und den Zellstoffplatten an Rumpf und Extremitäten, gemessenen Schweißmengen wurde die Schweißintensität (mg/100 cm^2 $\cdot$ min) für jeden Körperteil (Kopf, Stamm, Arm, Bein) berechnet. Die Schweißrate (ml/h) ist das Produkt aus Schweißintensität und jeweiliger Oberfläche von Kopf (1159 cm^2), Stamm (7621 cm^2), Arm (3402 cm^2) und Bein (7020 cm^2) bezogen auf eine Stunde.

Die Schweißintensität des Stammes übertrifft mit durchschnittlich 15,1 mg/100 cm^2 . min die der anderen Körperteile während des ganzen Verlaufs. Die

leichte Zunahme am Ende des Versuchszeitraumes ist nicht signifikant. Die Schweißintensitäten für Arm und Bein sind vom 7. Versuchstag an nahezu gleich (Abb. 2). Das ist aus den Mittelwerten vom 7. bis 29. Tag ersichtlich:

Arm 8,7 mg/100 cm^2 · min., Bein 8,3 mg/100 cm^2 · min. Der vermeintliche leichte Abfall im Verlauf kann nicht gesichert werden. Die niedrigsten Schweißintensitäten wurden am Kopf gemessen. Der lineare Abfall von 8 mg/100 cm^2 · min in den ersten beiden Tagen auf 5 in den letzten beiden Tagen ist signifikant ($p < 0,05$).

Die integrale Schweißrate - die addierten Schweißraten von Kopf, Stamm, Arm und Bein - unterliegt sostarken Schwankungen, daß ein gerichteter Verlauf nicht abgelesen werden kann (Abb. 2). Der Mittelwert liegt bei 126 g/h. Auffällig ist ein starker Abfall der integralen Schweißrate am 15. Tag, dem ein leichter Abfall der Pulsfrequenz, der Hauttemperaturen und des inneren Temperaturgradienten entspricht.

c) Der prozentuale Anteil der Körperteile an der integralen Schweißrate (Abb. 2)

Während der gesamten Zeit ist der Anteil des Stammes an der integralen Schweißrate mit 49 - 60% am größten. Die Beine sind mit 23 - 32%, die Arme mit 11 - 21% und der Kopf ist mit 1 - 7% beteiligt. Nur die Anteile des Kopfes und des Stammes zeigen eine signifikante Änderung im zeitlichen Verlauf. Die anteiligen Werte des Kopfes fallen etwas ab, ($r = -0,558$; $p < 0,05$), die des Stammes steigen an ($r = 0,577$; $p < 0,05$).

Der prozentuale Anteil des Kopfes an der integralen Schweißrate zeigt bei SCHMOLL (1967), LAASER (1968) und HÖFLER (1968) eine ähnlich abfallende Tendenz wie bei diesem Versuch. Demgegenüber läßt sich die in den obengenannten Arbeiten registrierte Verschiebung der Schweißbildung vom Stamm auf die Extremitäten nicht nachweisen.

4. Beziehungen zwischen Schweißrate und Körpertemperaturen

Zwischen den Körpertemperaturen und der Schweißrate kann man in diesem Versuch keine Korrelation erkennen. WYNDHAM (1952), LADELL (1957), WYNDHAM u. Mitarb. (1966), WYNDHAM u. Mitarb. (1967), LAASER (1968)

stellen bei Akklimatisierten eine größere Schweißrate pro Grad Zunahme der Kerntemperatur fest als bei Nichtakklimatisierten. Dieses Phänomen ließ sich beim vorliegenden Versuch nicht bestätigen.

Der zeitliche Verlauf der sweat response (Schweißrate pro Grad Zunahme der Kerntemperatur) zeigt nur in den ersten zwei Tagen gegenläufige Tendenzen für alle vier Stunden. Ab dem dritten Tag verlaufen die Werte der vier Stunden mit geringen Schwankungen parallel. In der vierten Woche vermindern sich die Differenzen der einzelnen Stunden und am letzten Tag (19. Tag) liegen alle Werte zwischen 360 und 420 ml/h · °C. Vom Beginn der zweiten Woche bis zum Ende des Versuchs ist die sweat response für die dritte und vierte Stunde größer als für die beiden ersten.

LAASER (1968) und HÖFLER (1968) fanden dagegen für die erste und zweite Stunde höhere Werte als für die dritte und vierte Stunde, doch sind auch bei ihnen am Ende des Versuchs die Werte für alle Stunden gleich. Es ist nicht sinnvoll, eine Beziehung zwischen sweat response und Kerntemperatur in unserem Versuch aufzustellen, da die meisten Werte der Kerntemperatur zwischen $37,4^{\circ}$ und $37,6^{\circ}$ liegen.

5. Änderung der Wärmebilanzgrößen

a) Die Wärmespeicherung Δ H

In den ersten fünf Tagen des Hauptversuches bewegte sich die Wärmespeicherung zwischen 56,9 und 31,6 Kcal/4 h, in den letzten fünf Tagen zwischen 63,2 und 44,2 Kcal/4 h. Der leichte Anstieg des Mittelwertes für die ersten fünf Tage von 45,5 auf 55,6 Kcal/4 h in den letzten fünf Tagen ist nicht signifikant.

b) Die Wärmeabgabe bzw. -aufnahme durch Konvektion und Strahlung

Die Wärmeabgabe durch Konvektion und Strahlung betrug in den ersten fünf Versuchstagen im Mittel 91,7, in den letzten fünf Tagen hingegen 104,5 Kcal/4 h. Diese leichte Zunahme ist nicht gesichert.

c) Die Verdunstungswärmeabgabe

Die Verdunstungswärmeabgabe läßt eine leichte Abnahme im zeitlichen Verlauf und in den einzelnen Stunden erkennen. Der Mittelwert für alle

vier Stunden fiel von 582,7 Kcal in den ersten fünf Versuchstagen auf 559,8 in den letzten fünf Tagen. Diese Änderung ist nicht signifikant.

d) Die Verdunstungskapazität

Die Verdunstungskapazität änderte sich nur unwesentlich. Sie stieg von 1008 Kcal/4 h am Anfang des Versuchs auf 1053 Kcal/4 h am Ende des Versuchs. Dieser geringe Anstieg ist nicht signifikant ($p = 0,1$).

ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

1. Die Ruhe- und Arbeitspulsfrequenzen nehmen während des Versuchs ab; das stabile Endniveau wird nach der dritten Woche erreicht.

2. Die Kerntemperaturen zeigen keine wesentliche Änderung im zeitlichen Verlauf.

3. Die Hauttemperaturen in der Ruhe, während der zweiten und dritten Stunde steigen im ganzen Zeitraum leicht an. Die Hauttemperaturen während der ersten und vierten Stunde ändern sich nicht im zeitlichen Verlauf.

4. Der innere Temperaturgradient flacht sich demnach in Ruhe und während der zweiten und dritten Stunde etwas ab.

5. Die Schweißproduktion läßt im zeitlichen Verlauf keine signifikante Änderung erkennen. Nur die Schweißintensität des Kopfes fällt linear ab.

6. Der prozentuale Anteil des Kopfes an der integralen Schweißrate fällt leicht ab, der des Stammes steigt an. Der Anteil des Stammes ist jedoch immer höher als der der Extremitäten.

7. Zwischen der Schweißrate und den entsprechenden Hauttemperaturen einerseits und der Kerntemperatur andererseits, lassen sich keine Korrelationen feststellen.

8. Im zeitlichen Verlauf der sweat response ergibt sich eine Angleichung der Werte für die vier Stunden. Eine Beziehung zwischen sweat response und Kerntemperatur ist nicht zu erkennen.

9. Die Testversuche unter höherer Hitze- und Arbeitsbelastung haben keinen Einfluß auf den Akklimatisationsverlauf.

10. Außer einer geringen Zunahme der Verdunstungskapazität im zeitlichen Verlauf, zeigen die Wärmebilanzgrößen keine Änderung.

BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE

Bei einer täglichen Expositionszeit von mindestens 100 Minuten ohne Unterbrechung (LIND u. Mitarb. 1963) treten unter Hitze- und Arbeitsbelastung in einer Klimakammer Adaptionsphänomene des Organismus auf. Die Anpassung des Kreislaufs, die nach wenigen Tagen, nach LADELL (1957) bereits am vierten Tag, nach EICHNA (1950) am zehnten Tag abgeschloßen ist, äußert sich in einer Abnahme der Pulsfrequenz (ROBINSON u. Mitarb. 1943, EICHNA u. Mitarb. 1945, GERKING u. Mitarb. 1946). Die anfänglich überhöhten Werte für Kern- und Hauttemperatur, die letztlich die Schweißdrüsen zu vermehrter Produktion anregen (LADELL 1957), sinken unter der einsetzenden Kühlwirkung des Schweißes bis Ende der ersten Woche deutlich ab. Da die Hauttemperatur etwas stärker abfällt, kommt es zu einer Versteilerung des inneren Temperaturgradienten (bei EICHNA 1950, um $0,5^{o}$ C), die eine Abnahme des peripheren Widerstandes und damit eine Verkleinerung des Herzminutenvolumens bewirkt (WYNDHAM 1952, WENZEL 1961, HÖFLER 1968).

Die Körpertemperaturen erreichen nach etwa 10 bis 14 Tagen (EICHNA 1950, LIND u. Mitarb. 1963, HÖFLER 1968), bei SCHMOLL (1967) nach 16 Tagen ein stabiles Niveau, das aber über den in kühler Umgebung gemessenen Werten liegt. Die kontinuierliche Zunahme der Schweißmenge erfolgt unter gleichzeitiger Abnahme des Schwellenwertes der Körpertemperaturen für den Schwitzbeginn (LAASER 1968, SCHMOLL 1967, WYNDHAM 1967, HÖFLER 1968).

Beim vorliegenden Versuch trat außer der endgültigen Stabilisierung des Kreislaufs nach der dritten Woche, die sich in der Abnahme der Pulsfrequenz auf ein konstantes Plateau äußert, keine wesentliche Änderung der obengenannten Größen auf. Außer diesen kurzfristigen zeigen sich auch keine langfristigen Akklimatisationsphänomene.

Eine Veränderung der lokalen Schweißverteilung am Kopf, Stamm, Arm und Bein, wie sie HÖFLER (1966), SCHMOLL (1967), LAASER (1968) feststellen, und eine Umverteilung der maximalen Schweißproduktion von der ersten und zweiten Arbeitsstunde auf die dritte, ist nicht nachzuweisen.

Da die Akklimatisation, gemessen an den obengenannten Kriterien, mißlang, müssen die Faktoren, die den Akklimatisationsvorgang bestimmen, gesondert besprochen werden.

Die gute physische Kondition zu Beginn des Akklimatisationsversuches ist eine Voraussetzung für den Erfolg der Akklimatisation. Nach LEHMANN (1955) ist jedes körperliche Training gleichzeitig auch ein Hitzetraining, da durch Verbesserung der Durchblutung der Muskulatur ein schnellerer Abtransport der Wärme zur Peripherie gewährleistet wird.

Dementsprechend wurde ein Vorversuch auf dem Fahrradergometer unter höherer Arbeitsbelastung als beim Hauptversuch (8 mkp/sec gegenüber 5 mkp/sec) bei normaler Zimmertemperatur durchgeführt, bis der Abfall der Pulsfrequenz und der Kerntemperatur auf ein konstantes Niveau nach etwa zwei Wochen die Anpassung des Kreislaufs anzeigte.

Zusätzlich wurden während dieser Zeit noch vier Hitzebelastungsversuche (35^{o} C / 32^{o} C; 8 mkp/sec) eingeschoben.

Nach Erreichen einer guten körperlichen Verfassung scheint eine Fortsetzung der Arbeit in kühler Umgebung die Anpassungsfähigkeit an Hitze nicht mehr zu verbessern (EICHNA u. Mitarb. 1945). Demzufolge war unsere Versuchsperson angemessen auf den Hauptversuch vorbereitet.

Während der Akklimatisation haben folgende Faktoren einen Einfluß sowohl auf die Schnelligkeit des Akklimatisationsablaufes, als auch auf den Akklimatisationsgrad: Die Höhe der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit, die Windgeschwindigkeit, die Schwere der Arbeit und die Bekleidung.

Da die Flüssigkeitszufuhr, entsprechend dem jeweiligen Gewichtsverlust, optimal war und die Temperaturschwankungen sehr gering waren, ist es nicht notwendig diese Faktoren zu berücksichtigen.

Schlafmangel und gesteigerter Alkoholgenuß (was nicht gemessen wurde) wirken sich negativ auf den Akklimatisationsvorgang aus.

Die Trockentemperatur, die Feuchttemperatur, die Windgeschwindigkeit, die Arbeitsbelastung und die Bekleidung werden in dem P_4 SR-Index (predicted four sweat rate nach Mc ARDLE 1947), einem exakten Hitzebelastungsindex zusammengefaßt.

Der P_4 SR-Index für den vorliegenden Versuch lag bei 0,9 bzw. 3,7 (Testversuche). Daraus läßt sich folgendes schließen:

1. Der im Vergleich zu anderen Autoren (s. Tab. S. 20) niedrige Belastungsgrad von 0,9 reicht offensichtlich nicht aus, um bei einer täglichen Expositionszeit von 6 Stunden (200 Minuten Arbeit, 160 Minuten Ruhe) über einen Zeitraum von 29 Tagen eine vollständige Akklimatisation zu erreichen.

2. Auch die neun Testversuche - vier während des Vorversuchs, vier während und einer am Ende des Hauptversuchs - konnten trotz des ungleich höheren P_4 SR-Index von 3,7 nicht zu einer vollständigen Akklimatisation beitragen.

   Daß die Höhe der Belastung die Schnelligkeit des Akklimatisationsablaufes bestimmt, zeigen die unterschiedlichen Angaben über die Dauer der Akklimatisation: 3 Tage (GLASER 1950), 4 Tage (TAYLOR u. Mitarb. 1943), 7 Tage (ROBINSON u. Mitarb. 1943), 8 bis 14 Tage (HÖFLER 1968) und 20 Tage (JUNGMANN 1962).

   Gleichwohl ist zu berücksichtigen, daß - wie bei langdauernden Versuchen beobachtet wurde - erst nach mehreren Wochen noch Veränderungen auftraten, die wenig bekannt sind, so z. B. eine Grundumsatzsenkung und langsame Abnahme der Schweißmenge (KNIPPING 1923, MACPHERSON 1960).

Für die Beurteilung des Akklimatisationsablaufes kann man auch die Änderungen der Wärmebilanzgrößen heranziehen (BRISBANE 1969, HÖFLER u. Mitarb. 1969, LADIPOH 1969), BRISBANE fand parallel zur Abnahme der Rektaltemperatur im zeitlichen Verlauf einen Abfall der Wärmespeicherung Δ H und eine Abnahme der Wärmeabgabe durch Konvektion und Strahlung und der Verdunstungskapazität aufgrund der Abnahme der Hauttemperaturen. Demgegenüber steigen die Wärmeabgabe durch Schweißverdunstung und die tatsächlich produzierte Schweißmenge an. Deshalb nimmt das Verhältnis der Schweißmenge zur Verdunstungskapazität S/C zu, ebenso das Verhältnis der produzierten Schweißmenge zur Verdunstungswärmeabgabe S/V.

In diesem Versuch bleibt die Kerntemperatur konstant, die Hauttemperatur steigt an und der innere Temperaturgradient nimmt demgemäß ab. Die Schweißmengen ändern sich nicht im Verlauf der Akklimatisation. Man könnte annehmen, daß die Verdunstung aufgrund der etwas höheren HT zunimmt (höhere Verdunstungskapazität C). Das ist jedoch nicht der Fall. Das Verhältnis V/C (Abb. 3) nimmt daher etwas ab (nicht signifikant). Offensichtlich wird bei dieser geringen Belastung eine unveränderte ausreichende Verdunstung

Autor	Klima Trockentemp. Feuchttemp. °C	Wind - geschw. (ft/min)	Arbeits - umsatz (kcal/m² · h)	Bekleidung	P_4 SR
ROBINSON u. Mitarb. (1943)	40,0 rel. Feuchte 23%	?	250	?	?
TAYLOR u. Mitarb. (1943)	49,0 / 29,4	?	256	Shorts	?
GERKING u. Mitarb. (1946)	38,0 / 31,9	184	190 128 48	unter- schiedl.	4,6 2,9 1,4
HORVATH u. Mitarb. (1946)	49,0 / 33,9	184	140	Uniform u. Shorts	7,45
EICHNA u. Mitarb. (1950)	50,7 / 26,7	450	150	Shorts	4,6
WYNDHAM (1952) u. Mitarb. (1966)	49,0 / 30,5 35,0 / 33,9	75 150	160 110	? ?	2,2-3,1 2,6
HÖFLER (1966)	33,6 / 27,0	-	116	Shorts	1,4
F. D. (1968)	32,0 / 26,0 35,0 / 32,0	75 75	105 150	Shorts Shorts	0,9 3,7

- ohne Zunahme der Schweißmenge, vielmehr nur durch die leicht ansteigende HT - aufrechterhalten. Die Beziehung zwischen Schweißmenge bzw. Verdunstung und Kerntemperatur, die bei stärkerer Belastung den Akklimatisationseffekt als Versteilerung und Linksverschiebung der Kurven deutlich hervortreten läßt (BRISBANE 1969, LADIPOH 1969, HÖFLER e. a. 1969), zeigt im hier dargestellten Versuch keine Unterschiede zwischen den ersten und den letzten fünf Tagen (Abb. 4). Vielmehr entspricht die Temperaturcharakteristik von Schweißmenge und Verdunstung von Anfang an einem akklimatisierten Zustand.

Die Konvektionswärmeabgabe dürfte um einen, dem leichten Anstieg der HT entsprechenden, Betrag zugenommen haben. Doch ist auch dieser Unterschied nicht signifikant, ebenso auch nicht eine geringe Steigerung der Wärmespeicherung. Die Wärmebilanzgrößen zeigen somit keinen für eine Verbesserung der Hitzetoleranz sprechenden Akklimatisationseffekt.

Trotzdem spricht der Abfall der Pulsfrequenzen bei gleichzeitiger Abnahme des Inneren Temperaturgradienten IT dafür, daß eine Akklimatisation stattgefunden hat (eine solche wäre selbst dann anzunehmen, wenn - im vorliegenden Fall bei 13tägiger Einarbeitungszeit unwahrscheinlich - die Pulsfrequenzzunahme als möglicher Trainingseffekt zu deuten wäre, da in jedem Fall der Temperaturgradient für den inneren Wärmetransport abgenommen hat). Als einziger Akklimatisationsmechanismus unter Bedingungen, bei denen die Wärmeabgabe von Anfang an nicht überfordert ist, dürften Änderungen der peripheren Durchblutung zugunsten der Haut in Betracht kommen (WILLIAMS e. a. 1967).

Der erworbene Akklimatisationsgrad ist quantitativ zu verstehen. HORVATH u. Mitarb. (1946) haben gezeigt, daß Adaption an eine hohe Umgebungstemperatur bessere Arbeitsfähigkeit in einem etwas kühleren Klima bewirkt. Andererseits sind Menschen, die unter bestimmten Bedingungen akklimatisiert sind, einer zusätzlichen Belastung nicht gewachsen (EICHNA u. Mitarb. 1965, JUNGMANN 1962, LEITHEAD und LIND 1964).

JUNGMANN konnte bei einer Schiffsbesatzung auf einer Fahrt durch die tropischen Zonen nur eine unvollständige Akklimatisation feststellen, da die Arbeitsbelastung, wie bei vorliegendem Versuch, zu gering war, obwohl die Dauer des Tropenaufenthaltes zweieinhalb Monate betrug.

PRAKTISCHE FOLGERUNGEN

Versuche unter natürlichen Bedingungen haben gezeigt, daß die Akklimatisation dort ähnlich abläuft wie im Experiment in der Klimakammer (ADOLPH 1947, EDHOLM u. Mitarb. 1963 und HÖFLER 1966). Allerdings schließt der Prozess der natürlichen Akklimatisation auch die psychische Anpassung an das Klima und die neue Umgebung ein (HELLON u. Mitarb. 1956, JUNGMANN 1962). Der Belastungsgrad im natürlichen Klima ist abhängig von Tagesablauf und jahreszeitlichen Klimaschwankungen, im allgemeinen aber geringer als in den Klimakammerversuchen. Die Effektivtemperatur von 27,2° C in diesem Versuch entspricht dem Wert, der bei einer Studie in Malaya als die Zimmertemperatur ermittelt wurde, die die obere Grenze der Behaglichkeit darstellt (WEBB 1952; zit.: nach LEITHEAD und LIND 1964).

An dieser Stelle wird auch berichtet, daß bei einer Ölgesellschaft im Iran eine Effektivtemperatur von 25,2° C als die obere Behaglichkeitsgrenze für Wohn- und Arbeitsräume angesehen wird. Wenn unter diesen Klimabedingungen eine leichte Arbeit (in unserem Versuch 105 kcal/m^2 · h) ausgeführt wird, ist nicht zu erwarten, daß innerhalb kurzer Zeit eine meßbare Akklimatisation eintritt.

Auch die diskontinuierliche Einwirkungen einer größeren Hitzbelastung (in diesem Versuch eine Effektivtemperatur von 32,2° C) und Arbeitsbelastung (150 kcal/m^2 · h) könnten den Ablauf der Akklimatisation nicht positiv beeinflussen.

LADELL (1964) meint zu diesem Problem, daß eine Akklimatisation nicht eintreten kann, wenn nicht durch entsprechende Arbeits- und Hitzebelastung die Kern- und Hauttemperaturen ansteigen und während einer bestimmten Zeit auf ihrem hohen Niveau bleiben.

FOX u. Mitarb. (1963) halten eine Kerntemperatur von 38,5° C eine Stunde pro Tag über 12 Tage für erforderlich, um eine vollständige Akklimatisation zu erreichen.

Menschen in den Tropen zeigen deshalb nicht den hohen Akklimatisationsgrad, welcher im Laboratorium erreicht werden kann, weil sie die harte körperliche Arbeit in der Tageshitze so weit wie möglich zu vermeiden suchen. Da bei fast allen künstlichen Akklimatisationsversuchen die Exposition anstrengend, aber kurz ist, während sie unter natürlichen Bedingungen weniger abrupt ist, aber länger andauert, ist die Akklimatisation bei geringer Belastung objektiv sehr schwer nachzuweisen.

Für das Studium der Akklimatisationsvorgänge unter solchen weniger belastenden Bedingungen kann man sich nur von Messungen der peripheren Durchblutung Erfolg versprechen.

LITERATURVERZEICHNIS

ADOLPH, E. F., D. B. DILL: Observations on water metabolism in the desert. Amer. J. Physiol. 123, 369 (1938).

ADOLPH, E. F.: Physiology of man in desert. New York 1947.

BELDING, H. S., T. F. HATCH: Relation of skin temperature to acclimation and tolerance to heat. Fed. Proc. 22, 881 (1963).

BRISBANE, S. S.: Änderung von Wärmebilanzgrößen bei der Akklimatisation in feuchtheißem Klima. Diss. Tübingen 1969.

CLIFFORD, J., D. McK. KERSLAKE & J. L. WADELL: The effect of wind speed on maximum evaporation capacity in man. J. Physiol. (London) 147, 253 (1959).

COLLINS, K. J., G. W. CROCKFORD & J. S. WEINER: The local training effect of secretory activity on the response of eccrine sweat glands. J. Physiol. (London) 184, 203 (1966).

EDHOLM, O. G., R. H. FOX, J. M. ADAM & R. GOLDSMITH: Comparison of artifical and natural acclimatization. Fed. Proc. 22, 709 (1963).

EICHNA, L. W., W. B. BEAN, W. F. ASHE & N. NELSON: Performance in relation to environmental temperature. Bull. Johns Hopkins Hospital 76, 25 (1945).

EICHNA, L. W., CH. R. PARK, N. NELSON, S. M. HORVATH & E. D. PALMES: Thermal regulation during acclimatization in a hot dry (desert type) environment. Amer. J. Physiol. 163, 585 (1950).

FOX, R. H., R. GOLDSMITH, D. J. KIDD & H. E. LEWIS: Acclimatization to heat in man by controlled elevation of body temperature. J. Physiol. 166, 530 (1963).

FOX, R. H., G. W. CROCKFORD, I. F. C. HAMPTON & R. MacGIBBON: A thermoregulatory function test using controlled hyperthermia. J. Appl. Physiol. 23, 267 (1967).

GERKING, S. D., S. ROBINSON: Decline in the rates of sweating of men working in severe heat. Amer. J. Physiol. 147, 370 (1946).

GLASER, E. M.: Acclimatization to heat and cold. J. Physiol. 110, 330 (1950).

GLASER, E. M.: Die physiologischen Grundlagen der Gewöhnung. Deutsch von R. Bartels, Stuttgart 1968.

HELLON, R. F., R. M. JONES, R. K. MACPHERSON & J. S. WEINER: Natural and artificial acclimatization to hot environment. J. Physiol. (London) 132, 559 (1956).

HENSCHEL, A., H. L. TAYLOR & A. KEYS: The persistance of heat acclimatization in man. Amer. J. Physiol. 140, 321 (1943).

HÖFLER, W.: Verlauf der Hitzeakklimatisation in einem natürlichen tropischen Klima. Z. Tropenmed. Parasit. 17, 127 (1966).

HÖFLER, W.: Verhalten der Schweißsekretion bei der Akklimatisation in einem tropischen Klima. Int. Z. angew. Physiol. 22, 317 (1966).

HÖFLER, W.: Anpassung im Tropenklima. Klimakammer-Feldversuche-Erfahrung. 3. Tagung Dtsch. Tropenmed. Ges. Hamburg 1967, Med. Klinik 63, 995 (1968).

HÖFLER, W., J. LADIPOH & U. LAASER: Beziehung zwischen Schweißmenge, Verdunstung und Körpertemperatur bei der Akklimatisation in künstlichem feuchtheißem Klima. Int. Z. angew. Physiol. 27, 34 (1969).

HORVATH, S. M. & W. B. SHELLEY: Acclimatization to extreme heat and its effect on the ability to work in less severe environment. Amer. J. Physiol. 146, 336 (1946).

JUNGMANN, H.: Untersuchungen zur Tropenakklimatisation an Schiffsbesatzungen. Z. Tropenmed. Parasit. 13, 137 (1962).

KNIPPING, H. W.: Beitrag zur Tropenphysiologie. Z. Biol. 78, 259 (1923).

KUNO, YAS: Human Perspiration. London 1956.

LAASER, U.: Physiologische Reaktionen während eines fünfwöchigen Daueraufenthaltes in einem künstlichen feuchtheißen Klima. Diss. Tübingen 1968.

LADELL, W. S. S.: Disorders due to heat. Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg., 51, 189 (1957).

LADELL, W. S. S.: In Handbook of Physiology. Wash. 1964 Sect. 4, 615.

LADIPOH, J.: Verhalten der Wärmebilanzgrößen bei 35tägigem Aufenthalt in künstlichem feuchtheißem Klima. Diss. Tübingen 1969.

LEHMANN, G.: Die Arbeitsfähigkeit des Menschen im tropischen Klima. Köln 1965.

LEITHEAD, C. S. & A. R. LIND: Heat Stress and Heat Disorders. London 1964.

LIND, A. R. & D. E. BASS: Optimal exposure time for development of acclimatization to heat. Fed. Proc. 22, 704 (1963).

MACPHERSON, R. K.: Physiological Responses to Hot Environment. Med. Res. Counc. Spec. Rep. Ser. No 298, London 1960.

McARDLE, B., W. DUNHAM, H. E. HOLLING, W. S. S. LADELL, J. W. SCOTT, M. L. THOMSON & J. S. WEINER: The prediction of the physiological effects of warm and hot environments: the P_4SR index. Med. Res. Counc. (London) R. N. P. Rep. 1947/391.

MOSS, K. N.: Some effects of high air temperature and muscular exertion upon colliers. Proc. Roy Soc. B 95, 181 (1923).

RENBOURN, E. T.: Seasoning fluxes and fevers of acclimatization. An introduction to the history of tropical adaptation. J. trop. Med. 66, 193 (1963).

ROBINSON, S., E. S. TURELL, H. S. BELDING & S. M. HORVATH: Rapid acclimatization to work in hot climates. Amer. J. Physiol. 140, 168 (1943).

SCHMOLL, D.: Phasen der Akklimatisation an Hitzearbeit während eines dreiwöchigen Daueraufenthaltes in einem feuchtheißen Klima. Diss. Tübingen 1967.

TAYLOR, H. F., A. HENSCHEL & A. KEYS: Cardiovascular adjustment of man in rest and work during exposure to heat. Amer. J. Physiol. 139, 583 (1943).

WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik. Stuttgart 1967.

WENZEL, H. G.: Die Wirkung des Klimas auf den arbeitenden Menschen. In: Handb. d. ges. Arbeitsmedizin Bd. I, München-Berlin-Wien 1961.

WILLIAMS, C. G., C. H. WYNDHAM & J. F. MORRISON: Rate of loss of acclimatization in summer and winter. J. Appl. Physiol. 22, 21 (1967).

WYNDHAM, C. H.: Effect of acclimatization on circulatory response to high environmental temperatures. J. Appl. Physiol. 4, 383 (1952).

WYNDHAM, C. H., N. B. STRYDOM, H. M. COOKE & J. S. MARITZ: The temperature response of men after two methods of acclimatization. Arbeitsphysiol. 18, 112 (1960).

WYNDHAM, C. H., N. B. STRYDOM, J. F. MORRISON, C. G. WILLIAMS, G. A. G. BREDELL & J. PETER: Fatigue of the sweat gland response. J. Appl. Physiol. 21, 107 (1966).

WYNDHAM, C. H.: Effect of acclimatization on the sweat rate/rectal temperature relationship. J. Appl. Physiol. 22, 27 (1967).

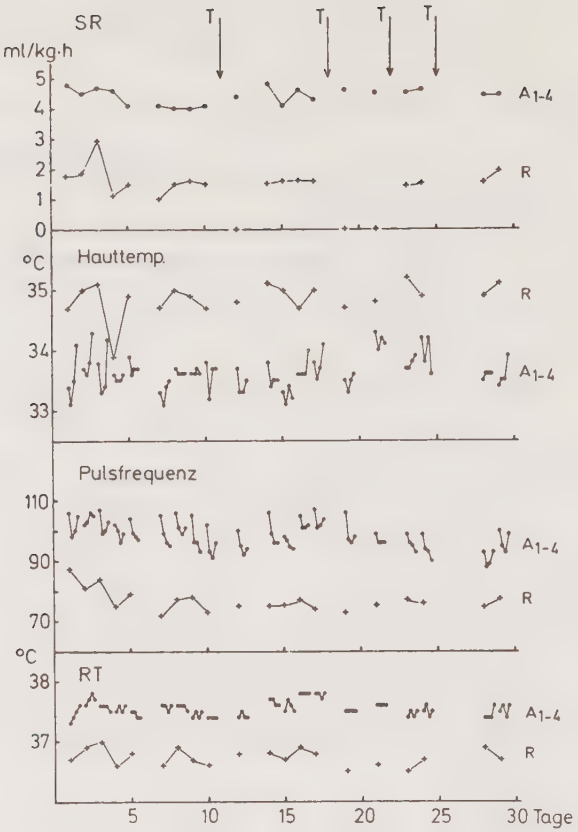

Abb. 1

von oben nach unten

- Die durchschnittlichen Schweißraten (SR) der vier Arbeiten (A_{1-4}) und in Ruhe (R)
- Die durchschnittlichen Hauttemperaturen für jede der 4 Stunden (A_{1-4}) und während der Ruhe (R)
- Die durchschnittlichen Pulsfrequenzen für jede der 4 Stunden A_{1-4}) und in Ruhe (R)
- Rektaltemperatur (RT). Durchschnittswerte aller 4 Stunden (A_{1-4}) und Meßwerte nach der Ruhe (R)

Die mit T bezeichneten Pfeile markieren die Testversuche

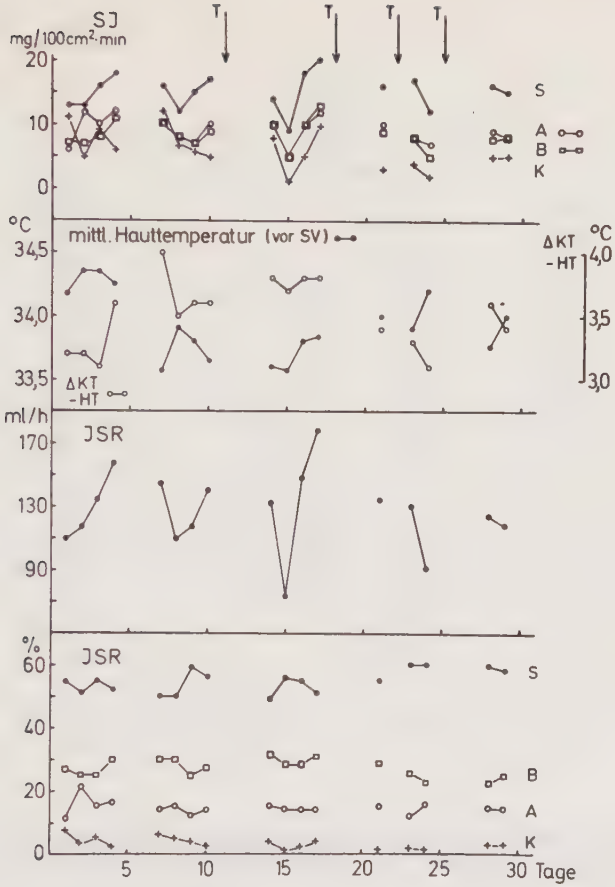

Abb. 2

von oben nach unten

- SJ Schweißintensität am Ende der täglichen Arbeitsperiode gemessen, für Stamm (S), Arm (A), Bein (B) und Kopf (K)
- mittlere Hauttemperatur vor Bestimmung der Schweißverteilung (SV) und KT - HT (Innerer Temperaturgradient), wobei KT = Kerntemperatur und HT = mittlere Hauttemperatur
- JSR integrale Schweißrate, die addierten Schweißraten von Kopf, Stamm, Arm und Bein
- Der prozentuale Anteil der Körperteile Stamm (S), Bein (B), Arm (A) und Kopf (K) an der integralen Schweißrate

Die mit T bezeichneten Pfeile markieren die Tage, an denen Testversuche stattfanden

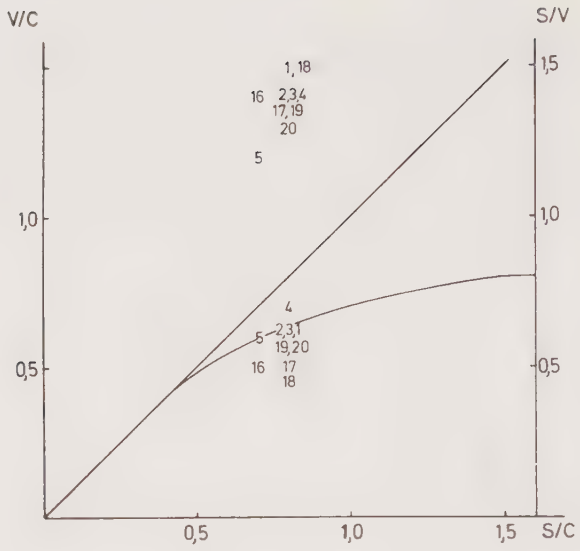

Abb. 3

Beziehung zwischen Verdunstungskapazität C, Schweißmenge S und Verdunstung V für die ersten 5 (1 - 5) und letzten 5 (16 - 20) Versuchstage

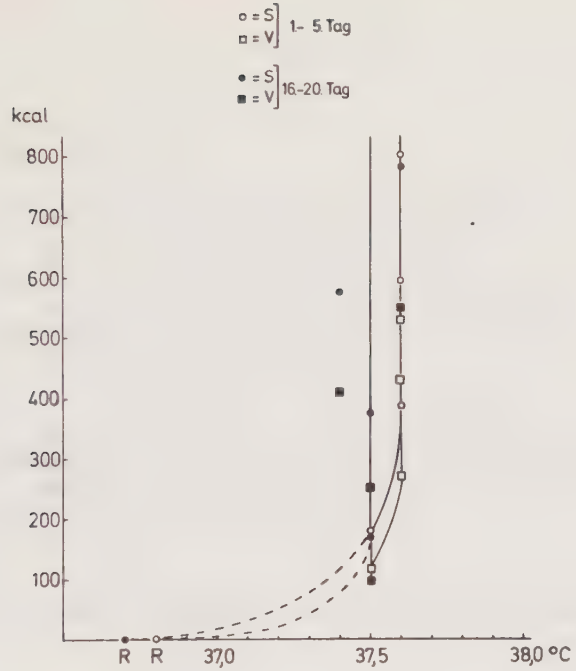

Abb. 4

Beziehung zwischen Schweißmenge bzw. Verdunstung und Kerntemperatur in den ersten 5 und letzten 5 Tagen. Die in 1 - 4 Std. gebildete bzw. verdunstete Schweißmenge ist gegen die zu diesem Zeitpunkt erreichte Kerntemperatur aufgetragen. R Kerntemperatur in Ruhe vor der ersten Arbeit

Herrn Prof. Dr. W. Höfler danke ich für das Thema dieser Arbeit und für seine Hilfe bei der Durchführung und Auswertung des Versuches.

Mein Dank gilt auch Fräulein Hermann, die mir bei der Durchführung der Versuche und bei der Anfertigung der Abbildungen sehr behilflich war.

Lebenslauf

Am 16. Mai 1944 wurde ich, Hans Bauer, als Sohn des Hans Bauer und seiner Ehefrau Margot, geb. Reik, in Göppingen geboren.

Nach vierjähriger Volksschulzeit in Faurndau, Kreis Göppingen, besuchte ich ab 1954 die Hohenstaufen-Oberschule und das Freihofgymnasium in Göppingen, wo ich 1963 die Reifeprüfung bestand.

Im SS 1963 immatrikulierte ich mich für die Fächer Englisch und Latein an der Philosophischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen. Seit dem WS 1964/65 studiere ich an derselben Universität Medizin. Im WS 1967/68 war ich an der Universität in Wien inskribiert. Im Sommer 1970 legte ich das Staatsexamen in Tübingen ab.